

ヒートパイプBACHを用いた防火水槽鉄蓋周辺融雪システムの検討

Study on Snow Melting System around Steel Top of Fire Cistern using Heat Pipe BACH

永井 二郎*
(福井大学大学院工学研究科機械工学専攻)
鈴木 健介*
(福井大学大学院工学研究科機械工学専攻)
前川 義和**
(株式会社ホクコン)
谷口 晴紀**
(株式会社ホクコン)

Abstract: This research aims to develop snow melting system around steel top of underground fire cistern by using Bubble Actuated Circulating Heat pipe (BACH). Water in a fire cistern installed underground is heated by underground heat source, 10 ~15 °C. Heat is transported by BACH from water to snow melting panel near the surface, which contains the steel top, resulting in snow melting around the top. The experimental results show that this system can melt the snow on the snow melting panel in winter season preferably, and has enough anti-freezing ability around the steel top. The numerical simulation program was found to predict temperature variations of the whole system preferably. From a thermal point of view, BACH showed better results compared to those of a conventional thermosiphon heat pipe.

1. 緒言

冬季、降雪地域の火災現場において、積雪により防火水槽（以下、水槽）の吸管投入孔の位置が特定できない、あるいは投入孔の鉄蓋が鉄蓋掛かり部に凍結するため、迅速な消火活動に支障が生じる場合がある。この問題に対し筆者らは、図1に示すように、地中熱の影響を受ける浅層に設置された地下式の水槽内部の水（10℃前後）を熱源とし、ヒートパイプ（サーモサイフォン式）を用いて吸管投入孔（0℃前後）周辺の融雪および凍結防止を消費電力ゼロで行うシステム（以下、防火水槽融雪システムとする）を提案した⁽¹⁾。従来のヒートパイプを用いた融雪や凍結防止の方法には、熱源として深層地中熱の直接利用や温泉廃湯、生活排水等を利用するものがあり、その熱を用いて道路や駐車場等の路面融雪を行っている。本システムは、道路などの広い範囲とは違い、吸管投入孔周辺の1m²程の小さい範囲の融雪を行う。また、ヒートパイプ設置のために地中掘削の必要がほとんど無いため、低コストでの実現が期待できる。

前報⁽²⁾では、本システムの複数年にわたるフィールド試験結果と温度場・融雪状況の数値シミュレーション結果を報告し、長期間での安定性と計算プログラムの妥当性を確認した。しかし、寒冷・多雪地域での融雪・凍結防止能力は十分ではないと想定され、より高性能・高機能なヒートパイプの必要性が指摘された。そこで本報告では、若狭湾エネルギー研究センターにより近年発明された気泡駆動型循環式ヒートパイプ (Bubble-Actuated Circulating Heat pipe: 以下、BACH)⁽³⁾を本融雪システムに導入し、熱輸送特性把握やフィールド試験の結果を報告する。

(キーワード：融雪，凍結防止，防火水槽，ヒートパイプ，地中熱)

* Niro Nagai, Kensuke Suzuki
(Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, University of Fukui, Fukui, 910-8507)
** Yoshikazu Maegawa, Haruki Taniguchi
(Hokukon Co., Ltd, Fukui, 918-8152)

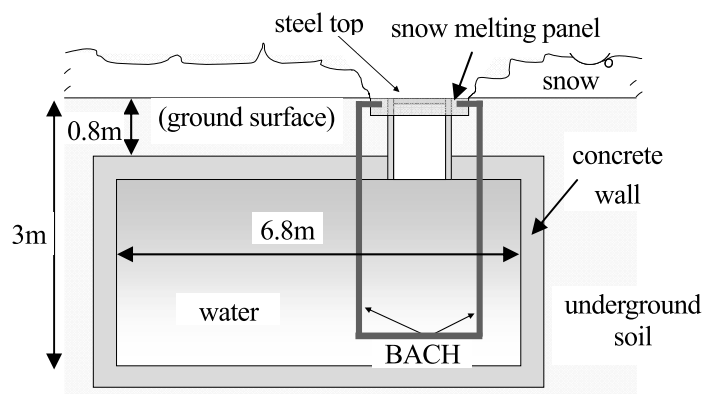


Fig. 1 Outline of snow melting system around steel top of fire cistern using a heat pipe BACH

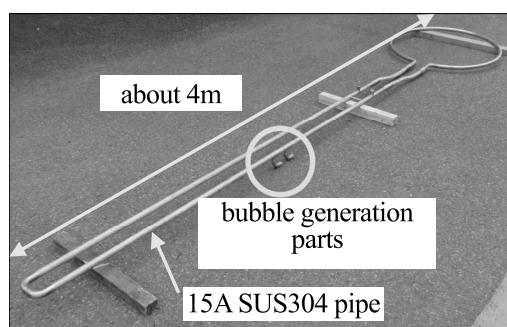


Fig. 2 Photo of Bubble-Actuated Circulating Heat pipe (BACH) installed in the tested snow melting system

2. 防火水槽融雪システムと BACH の概要

2. 1 防火水槽融雪システム

フィールド試験装置概略図を図 1 に示す．使用する防火水槽（(株)ホクコン製 内空 W6800mm×D3000mm×H2000mm, 壁厚 200mm, 容量約 40m³）は，比較的温暖・少雪の福井県越前市と比較的寒冷・多雪の福井県大野市にあり，地表面から深さ 800mm に設置した．吸管投入孔直上部に，図 2 に示す BACH（長さ約 4m，15A SUS204 管，作動媒体 HFC134a）の放熱部を埋め込んだ融雪パネルを設置した．パネルの側面から出た中間パイプ部は，頂版開口部より水槽内へ挿入した．BACH は，放熱部（融雪パネル内）と吸熱部（水槽内）の温度差によって水槽内の水を熱源として，融雪パネル内へと熱輸送を行う．融雪パネルの大きさは W1000mm×D1000mm×H200mm であり，中央には鉄蓋（内径 600mm）が設置されている．融雪パネルや水槽のコンクリート骨材には，比較的熱伝導性の高い珪石を用いている．なお図には示さないが，同じ防火水槽に設置した別の吸管投入孔には，比較のため前報⁽²⁾で用いたサーモサイフォン式ヒートパイプ（長さ 5m，外径 26mm，作動媒体 HFC134a）を 2 本設置し，両者の融雪状況が比較できるようにした．装置各場所の温度は T 型熱電対により測定し記録した．

2. 2 BACH

図2の左側部分（直管部）が BACH の吸熱部であり、そこには図に示すような気泡生成部が設置されており、非常に小さな過熱度（＝壁の温度－作動媒体の飽和温度）で連続的に作動媒体の蒸気泡が生成され、それに伴い内部で作動媒体の循環が誘起され熱輸送を実現する⁽⁴⁾。図2の右上部分（円形ループ部）が放熱部であり、鉄蓋を囲むように図1のシステムの融雪パネル内に固定される。

この BACH の定常熱輸送特性を把握するため、別途実験装置を製作した。恒温水槽で温度を一定に保たれた水（不凍液）を吸熱部周囲と放熱部周囲にそれぞれ循環させ、放熱部に流入・流出する水の温度差とその流量から熱輸送量[W]を評価した。本融雪システムの冬季状況を模擬するため、放熱部入口水温は 0℃とし、吸熱部入口水温は 5～15℃と設定した。その結果、BACH の熱輸送量は吸熱部壁温と放熱部壁温の差 ΔT [K]にほぼ比例し、0～500 W ($\Delta T=0\sim 8$ K)となった。この値は、同装置で測定した単管サーモサイフォン2本分の熱輸送量より有意に大きく、良好な融雪・凍結防止効果が期待できる。

3. 数値シミュレーションの概要⁽²⁾

本システム各場所の温度変化や融雪状況をシミュレーションするため、融雪パネル、鉄蓋、土壌、水槽などを連動させて数値計算した。融雪パネルや土壌の表面では、太陽日射、熱放射、大気との熱伝達、降雨や降雪および内部からの熱伝導を考慮し、各コンクリートの内部や土壌内と共に3次元非定常の熱伝導計算を行った。入力に用いる気象データは、気象台観測データを計算用に変換したものをを用いた。データ内には気温、雨量、風速、日射量などが含まれている。それらを基に計算を行う事により、土壌や融雪パネル、水槽、水槽内水温等の温度分布や各場所の残雪深などの計算結果を得ることが出来る。BACH やサーモサイフォン式ヒートパイプの熱輸送特性の評価には、2. 2で述べた実験により得られた整理式を用いた。

4. フィールド試験および数値シミュレーション結果

図3は、大野市防火水槽において2009年12月31日正午での融雪状況を示す写真である。この日の気象条件は、最低気温-1.7℃、最高気温3.0℃、自然最大積雪深60cmである。2009～2010年冬季は比較的大雪であったが、図のように、融雪パネル上で BACH およびサーモサイフォンを設置した直上部分は融雪され、目視による吸管投入孔の迅速な発見が可能であることが分かる。また、BACH 設置側（図の実線で囲われた部分）の方がサーモサイフォン式ヒートパイプ設置側（図の破線で囲われた

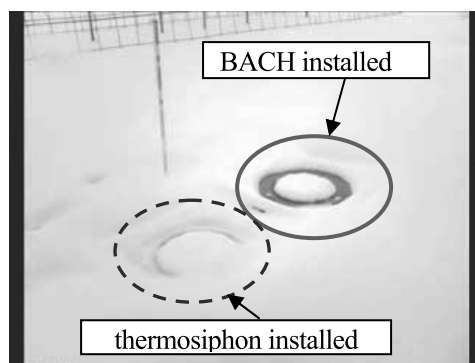


Fig. 3 Photo of snow melting situation around noon on Dec.31, 2009 at Ohno city

部分) より良好に融雪されていることが分かる。これは2. 2で述べた熱輸送量の差に起因するものと思われる。

図4は、越前市防火水槽において、2009 年末～2010 年始にわたり、BACH を設置した融雪パネル表面平均温度の推移を、実測値と計算値を比較して示している。図中、上部のプロット点は、当該時刻に降雪があったことを示している。図より、降雪がある時に融雪パネル温度は 2°C 以下に低下するものの氷点に達することは無く、これが良好な融雪効果につながったと考えられる。また、BACH の熱輸送特性を用いた数値計算結果は、 2°C 程度の誤差は含むものの、実測値の推移を良く表しており、シミュレーションプログラムの妥当性が確認できた。

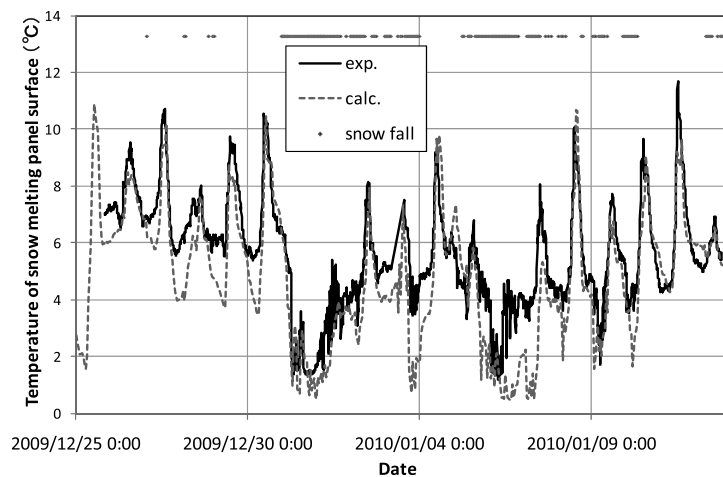


Fig. 4 Mean surface temperature of snow melting surface of BACH installed at Echizen city

図5は、図4と同じ場所・時期において、鉄蓋掛かり部の温度推移を、BACH 設置側とサーモサイフォン式ヒートパイプ設置側とを比較して示している。この図より、いずれの鉄蓋掛かり部温度も氷点に達することは無く、良好な凍結防止効果が確認できた。ただし、サーモサイフォン設置側の温度（図中の破線）が氷点に近い値となる時間帯が見られるが、BACH 設置側の温度（図中の実線）は常に 2°C 以上を保った。図には示さないが、大野市防火水槽での実測値も、図5と同様に氷点以上ではあったが、BACH 設置側の方が高い温度を示した。これらのことから、福井県より寒冷・多雪地域での利用を考えた場合、BACH を用いる方が熱的効用が高いと判断できる。

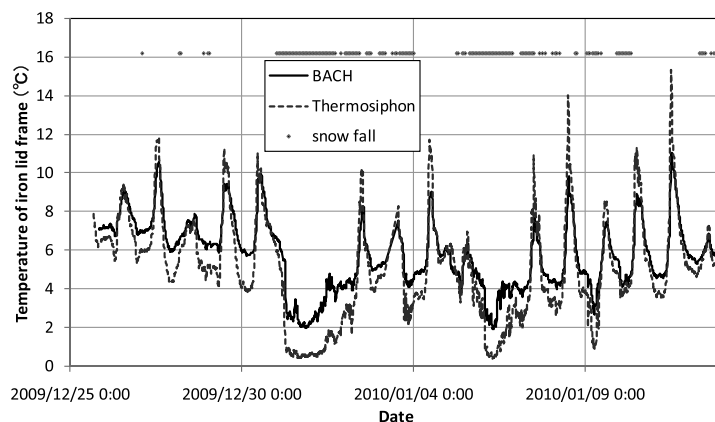


Fig. 5 Temperature of steel top frame at Echizen city (comparison between BACH and Thermosiphon)

5. 結言

ヒートパイプ BACH を用いた防火水槽鉄蓋周辺融雪システムについて、熱輸送特性把握やフィールド試験を行った。その結果、福井県内 2 箇所の気象・降雪状況下では、融雪パネル上での良好な融雪および凍結防止効果が確認できた。また、システム全体の温度変化や融雪状況をシミュレーションするプログラムの妥当性を確認した。

謝辞

本研究の一部（主に数値計算）は、平成 22 年度福井大学地域環境研究教育センターの研究支援により実施された。また、フィールド試験や室内実験は、都市エリア産学官連携促進事業（ふくい若狭エリア）による受託研究および総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度による研究助成により実施された。

参考文献

- (1) 中野哲成, 永井二郎, 竹内正紀, 前川義孝, 芹川剛, 2007, “ヒートパイプを用いた融雪システムの検討”, 日本機械学会北陸信越支部第 44 期総会・講演会講演論文集, 808, pp.307-308.
- (2) 永井二郎, 中野哲成, 竹内正紀, 前川義孝, 前川義和, 2010, “ヒートパイプを用いた防火水槽鉄蓋周辺融雪システムの検討”, 日本冷凍空調学会論文集, Vol.27, No.3, pp. 271-279.
- (3) 新宮秀夫, 大谷暢夫, 2011, “ループ型ヒートパイプ”, 特許第 4771964
- (4) Nagai, N., Iwamoto, A., Onishi, T., Shingu, H., 2010, “Advances and Opportunities in Bubble-Actuated Circulating Heat Pipe (BACH)”, Frontiers in Heat Pipes, Vol.1, No.2, pp.1-7.